

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/006199

International filing date: 24 March 2005 (24.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-088077  
Filing date: 24 March 2004 (24.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 28 April 2005 (28.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 4 年 3 月 2 4 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 8 8 0 7 7

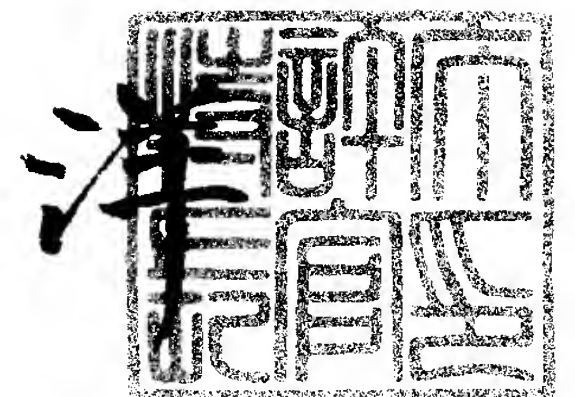
パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号  
J P 2 0 0 4 - 0 8 8 0 7 7  
The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

出 願 人  
Applicant(s): 独立行政法人科学技術振興機構

2 0 0 5 年 4 月 1 3 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】	特許願
【整理番号】	P2445JST
【提出日】	平成16年 3月24日
【あて先】	特許庁長官 殿
【国際特許分類】	H01L 29/28
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都杉並区荻窪3－47－8
【氏名】	鯉沼 秀臣
【発明者】	
【住所又は居所】	神奈川県横浜市青葉区美しが丘2－17－41
【氏名】	伊高 健治
【発明者】	
【住所又は居所】	神奈川県横浜市青葉区松風台21－13 S205号
【氏名】	山城 貢
【特許出願人】	
【識別番号】	503360115
【氏名又は名称】	独立行政法人科学技術振興機構
【代理人】	
【識別番号】	100082876
【弁理士】	
【氏名又は名称】	平山 一幸
【電話番号】	03-3352-1808
【選任した代理人】	
【識別番号】	100069958
【弁理士】	
【氏名又は名称】	海津 保三
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	031727
【納付金額】	21,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【包括委任状番号】	0316160

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

基板上に、バッファ層と有機薄膜とが順次積層されたことを特徴とする、有機薄膜を有する基板。

【請求項 2】

さらに、前記基板と前記バッファ層との間に前記バッファ層と配向しやすい層が挿入されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 3】

前記基板は絶縁基板であり、前記バッファ層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、前記有機薄膜は  $C_n$  フラーレン（ここで、 $n$  は 60 以上の整数）又は  $C_n$  フラーレン誘導体であることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 4】

前記基板はサファイア基板、前記バッファ層はペンタセン、前記有機薄膜は  $C_{60}$  であることを特徴とする、請求項 1 ～ 3 の何れかに記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 5】

前記サファイア基板の表面が平坦化処理され、前記ペンタセンから成るバッファ層が分子層単位で積層されていることを特徴とする、請求項 4 に記載の有機薄膜を有する基板。

【請求項 6】

基板上に形成された有機薄膜を備えたトランジスタであって、  
上記有機薄膜が、バッファ層を介して上記基板に積層されていることを特徴とする、トランジスタ。

【請求項 7】

さらに、前記基板と前記バッファ層との間に前記バッファ層と配向しやすい層が挿入されていることを特徴とする、請求項 6 に記載のトランジスタ。

【請求項 8】

前記基板はサファイア基板であり、前記バッファ層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、前記有機薄膜は  $C_n$  フラーレン（ここで、 $n$  は 60 以上の整数）又は  $C_n$  フラーレン誘導体であることを特徴とする、請求項 6 又は 7 に記載のトランジスタ。

【請求項 9】

基板上にバッファ層と有機薄膜とが順次積層される工程を含んでいることを特徴とする、有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 10】

さらに、前記基板と前記バッファ層との間に前記バッファ層と配向しやすい層を挿入することを特徴とする、請求項 9 に記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 11】

前記基板は絶縁基板であり、前記バッファ層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、前記有機薄膜は  $C_n$  フラーレン（ここで、 $n$  は 60 以上の整数）又は  $C_n$  フラーレン誘導体であることを特徴とする、請求項 9 又は 10 に記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 12】

前記基板はサファイア基板、前記バッファ層はペンタセン、前記有機薄膜は  $C_{60}$  であることを特徴とする請求項 9 ～ 11 の何れかに記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 13】

前記サファイア基板の表面が平坦化処理され、前記ペンタセンから成るバッファ層が分子層単位で積層されていることを特徴とする、請求項 12 に記載の有機薄膜を有する基板の製造方法。

【請求項 14】

トランジスタの製造方法において、  
請求項 9 乃至 13 の何れかに記載の有機薄膜を有する基板の製造方法を用いてトランジスタを製造することを特徴とする、トランジスタの製造方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、有機半導体を用いたデバイスの進歩は目覚ましいものがあり、有機半導体薄膜をチャンネルとする電界効果トランジスタ（以下、単にFETと呼ぶ）の研究が鋭意進められている。これらのFETは、大部分がp型FETであり、n型FETの報告例は少ない。n型有機半導体として、フラーレン（ $C_{60}$ ）が注目されている。FETや超格子構造を有するデバイスでは、原子レベルで、組成や膜厚の異なる薄膜を順次形成するために、2次元的な薄膜を作製する必要がある。

しかしながら、従来の無機半導体であるシリコンや化合物半導体と比べると、その製造レベルは非常に低い。

【0003】

これらの有機半導体薄膜の製造方法の一つとして真空蒸着法が知られており、金属上には、 $C_{60}$ 薄膜が2次元的に成膜できることが知られている。また、 $C_{60}$ などのフラーレン系材料による電界効果トランジスタを製造するためには、金属上ではなくSiや絶縁物基板上に高品質な薄膜を堆積する必要がある。例えば、非特許文献1には、水素で終端したシリコン（Si）基板上への $C_{60}$ 薄膜形成が報告されている。

【0004】

図12は、非特許文献1のSi基板上へ堆積した $C_{60}$ の薄膜のAFM（原子間力顕微鏡）写真であり、（a）がAFM像、（B）が $C_{60}$ 薄膜の断面模式図である。なお、AFM像の測定領域は、 $4\mu m \times 4\mu m$ である。図から明らかなように、2次元成長は得られなく、厚さが約10nm（100Å）で、1～2μmの大きさの柱状結晶がSi基板上に点在し、所謂3次元成長している。

【0005】

【非特許文献1】 K. Ueno他2名, “Van der Waals epitaxy on hydrogen-terminated Si(111) surfaces and investigation of its growth mechanism by atomic force microscope”, 1995年, J. Crystal. Growth, Vol. 150, pp. 1180-1185

【非特許文献2】 信光社カタログ、2002年

【非特許文献3】 J. S. Wu他1名, “Electron diffraction of thin-film pentacene”, 2004年, J. Appl. Cryst., Vol. 37, p. 78

【非特許文献4】 化学、1991年12月、Vol. 46, p. 857

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

$C_{60}$ などのフラーレン系材料による電界効果トランジスタを実用化するためには、金属上ではなく、Siや絶縁物基板上に平坦な2次元成長膜を形成することが強く要求されている。しかしながら、 $C_{60}$ 薄膜を絶縁基板上に成長させる場合には、柱状成長をし易く、高品質な薄膜が得られていないという課題がある。

【0007】

ところが、本発明者らは、 $C_{60}$ などの有機材料とサファイア基板などとの間に、ペンタ

センなどの材料からなるバッファ層を挿入することにより、 $C_{60}$ などの有機材料を二次元成長できることを見出し、本発明に想到した。

#### 【0008】

そこで、本発明は上記課題に鑑み、 $C_{60}$ などの有機薄膜を二次元成長できる、有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法を提供することを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

上記目的を達成するため、本発明の有機薄膜を有する基板は、基板上に、バッファ層と有機薄膜とが順次積層されていることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、基板とバッファ層との間にバッファ層と配向しやすい層が挿入されている。

好ましくは、基板は絶縁基板であり、バッファ層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、有機薄膜は $C_n$ フラレン（ここで、 $n$ は60以上の整数）又は $C_n$ フラレン誘導体である。また、好ましくは、基板はサファイア基板であり、バッファ層はペンタセンであり、有機薄膜は $C_{60}$ である。また、好ましくは、サファイア基板の表面が平坦化处理され、ペンタセンから成るバッファ層が分子層単位で積層されている。

#### 【0010】

上記構成によれば、 $C_{60}$ などの有機薄膜の結晶成長が従来困難であった絶縁性の基板との間に特定の材料からなるバッファ層を挿入することにより、非常に平坦な単分子層単位の薄膜を形成できるため、これを成長させてから有機薄膜を成長させることができる。このため、基板と $C_{60}$ などの有機薄膜との間の歪を緩和させて、 $C_{60}$ などの有機薄膜を二次元成長でき、しかも、その結晶粒径を拡大させることができる。これにより、結晶品質の高い有機薄膜が得られ、有機薄膜の移動度などの諸特性が向上した、有機薄膜を有する基板を提供できる。

#### 【0011】

また、本発明のトランジスタは、基板板上に形成された有機薄膜を備えたトランジスタであって、有機薄膜が、バッファ層を介して基板に積層されていることを特徴とする。

上記構成において、さらに、好ましくは、基板と前記バッファ層との間にバッファ層と配向しやすい層が挿入されている。また、好ましくは、基板はサファイア基板であり、バッファ層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、有機薄膜は $C_n$ フラレン（ここで、 $n$ は60以上の整数）又は $C_n$ フラレン誘導体である。

#### 【0012】

上記構成によれば、 $C_{60}$ などの有機薄膜と基板との間に、特定の材料からなるバッファ層を挿入することにより基板と $C_{60}$ などの有機薄膜との間の歪を緩和して、 $C_{60}$ などの有機薄膜を二次元成長でき、その結晶粒径を拡大させることができる。このため、結晶品質の高い有機薄膜が得られる。従って、有機薄膜の移動度が向上することにより性能の高い電界効果トランジスタなどのトランジスタを提供することができる。

#### 【0013】

また、本発明の有機薄膜を有する基板の製造方法は、基板上にバッファ層と有機薄膜とが順次積層される工程を含んでいることを特徴とする。

上記構成において、好ましくは、基板とバッファ層との間にバッファ層と配向しやすい層を挿入する。

また、好ましくは、基板は絶縁基板であり、バッファ層はアセン系芳香族または誘導体の何れかであり、有機薄膜は $C_n$ フラレン（ここで、 $n$ は60以上の整数）又は $C_n$ フラレン誘導体である。また、好ましくは、基板はサファイア基板であり、バッファ層はペンタセンであり、有機薄膜は $C_{60}$ である。また、好ましくは、サファイア基板の表面が平坦化处理され、ペンタセンから成るバッファ層が分子層単位で積層されている。上記構成によれば、基板上に結晶品質の高い有機薄膜を形成することができる。

#### 【0014】



また、本発明のトランジスタの製造方法は、上記の有機薄膜を有する基板の製造方法を用いてトランジスタを製造することを特徴とする。

#### 【0015】

上記構成によれば、基板上に結晶品質の高い有機薄膜を形成し、この有機薄膜を用いたトランジスタを製造することができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0016】

本発明によれば、絶縁基板などの表面にバッファ層を介した結晶品質の高い、有機薄膜を有する基板を得ることができる。また、この有機薄膜を用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法が提供されることになる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

以下、図面に示した実施形態に基づいて本発明を詳細に説明する。各図において同一又は対応する部材には同一符号を用いる。

初めに本発明の第1の実施形態による有機薄膜を有する基板について説明する。

図1は、本発明に係る第1の実施形態による有機薄膜を有する基板の断面図である。図1に示すように、本発明の有機薄膜を有する基板1は、基板2上に、第1の有機材料から成るバッファ層3と、第2の有機材料として $C_{60}$ などの有機薄膜4と、が順次積層されている構造を有している。

#### 【0018】

ここで、基板2は、六方晶系のサファイア基板、ガラス基板、石英基板、及びポリイミドのような有機材料が配向しやすい基板であれば、何でもよい。そして、基板2表面は可能な限り平坦な基板を使用することが望ましいが、基板2の表面荒さがバッファ層3となる材料の分子層程度以下とすることが好適である。例えば、上記バッファ層3が後述するペンタセン薄膜3の場合、表面粗さが約 $15\text{ \AA}$ 程度の基板であれば、本発明の手法が適用可能である。また、基板1の上にデバイス構造を形成するのに必要な他の金属や絶縁体の薄膜を積層した基板に成膜を行う場合でも、同様の面粗さが局所的に満たされていればよい。

#### 【0019】

また、バッファ層3は、三斜晶系のペンタセンをはじめとするアセン系有機材料とその誘導体を用いることができる。

#### 【0020】

また、有機薄膜4は、 $C_n$  フラーレン（ここで、 $n$ は60以上の整数）または $C_n$  フラーレン誘導体を用いることができる。 $C_n$  フラーレンとしては、六方晶系の $C_{60}$ のほかに、 $C_{70}$ 、 $C_{120}$  などを用いることができる。

#### 【0021】

図2は、本発明に係る第1の実施形態による有機薄膜を有する基板の変形例の断面図である。

図2に示すように、本発明の有機薄膜を有する基板10が、図1の有機薄膜を有する基板1の構造と異なるのは、基板2とバッファ層3との間に、さらに、基板2又は／及びバッファ層3と配向しやすい層5が挿入されている点である。この基板2又は／及びバッファ層3と配向しやすい層5は、絶縁層を用いることができる。ここで、絶縁層5は、基板2上に堆積した $SiO_2$  や $Al_2O_3$  薄膜などでもよい。

#### 【0022】

このようにして、本発明の有機薄膜を有する基板1、10においては、バッファ層3の厚さを1分子層から10分子層程度挿入することにより、 $C_{60}$ などの有機薄膜4と基板2との格子歪が緩和できる。なお、本発明においては、上記の1分子層から10分子層程度のバッファ層3の膜厚を分子層単位のバッファ層3と呼ぶ。

#### 【0023】

ここで、バッファ層3の挿入により有機薄膜4の2次元成長が得られ易くなる理由に

ついて説明する。

例えば、ペンタセン薄膜から成るバッファ層 3 及び  $C_{60}$  薄膜 4 の場合について推察する。ペンタセン自体は、 $\pi$  電子がベンゼン環に垂直に飛び出しており、それらの方向が重要となる。一般に有機薄膜の  $\pi$  電子は、金属には配向の相性がよいが、絶縁物とは反発し易い。

しかしながら、ペンタセン薄膜 3 が基板 2 に堆積した後には、ペンタセン薄膜 3 の  $\pi$  電子が歪んでいると推定される。このため、ペンタセン薄膜 3 上に  $C_{60}$  を堆積した場合には、 $C_{60}$  の 2 次元成長が得られ易くなると考えられる。

これにより、バッファ層 3 の挿入によって  $C_{60}$  などの有機薄膜 4 の 2 次元成長が促進され、著しく平坦性が改善された有機薄膜 4 を有する基板 1, 10 が得られる。

#### 【0024】

次に、本発明の有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタに係る第 2 の実施形態を説明する。

図 3 は、本発明に係る第 2 の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの構造を模式的に示す断面図である。トランジスタは、電界効果トランジスタの場合を示している。図に示すように、電界効果トランジスタ 20 は、絶縁性の基板 25 上に、バッファ層 3 と有機薄膜 4 とが順次積層され、有機薄膜 4 上にゲート絶縁膜 21 が堆積された構造を有している。そして、ゲート絶縁膜 21 上にはゲート電極 22 が、チャンネルとなる有機薄膜 4 上には、ソース電極 23 及びドレイン電極 24 が配設されている。

#### 【0025】

図 4 は、本発明に係る第 2 の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの変形例の断面図である。トランジスタは電界効果トランジスタの場合を示している。図に示すように、電界効果トランジスタ 30 は、ゲート電極 22 とゲート絶縁膜 21 が堆積された基板 25 上に、バッファ層 3 と有機薄膜 4 とが順次積層された構造を有し、ゲート絶縁膜 21 内にゲート電極 22 が、チャンネルとなる有機薄膜 4 上には、ソース電極 23 及びドレイン電極 24 が、それぞれ配設されている。最上層には、保護膜 26 が堆積されていてもよい。

なお、ゲート電極 22、ソース電極 23 及びドレイン電極 24 は、図示しない領域で、ボンディング領域が形成されている。

#### 【0026】

ここで、ゲート絶縁膜 21 の材料としては、酸化アルミニウム、酸化ハフニウム、窒化シリコン、誘電性ポリマーなどの酸化物、硫化物、有機物などを用いることができる。特に、リーク電流が少なく、絶縁破壊電圧が高く、誘電率の大きい材料が電界を印加し易いという点で好ましい。

また、ゲート電極 22 の材料としては、アルミニウム (Al)、金 (Au)、又はこれらの材料を添加したシリコン (Si) などを用いることができる。これらの材料は、有機薄膜 4 の仕事関数や FET の動作方法によって、適切なものを用いればよい。また、ソース電極 23 及びドレイン電極 24 の材料としては、アルミニウムや金などが挙げられる。これらの材料は電気伝導度が高く、有機薄膜 4 との仕事関数の整合性がよいものが好ましいが、FET の目的とする出力によって選択すればよい。さらに、保護膜 26 の材料としては、アルミナや窒化シリコンのような絶縁物などが挙げられる。

#### 【0027】

また、上記有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタ 20, 30 の各層は、蒸着法、分子線エピタキシー法、高周波スパッタ法などの各種薄膜堆積法やフォトリソグラフィ法やシャドーマスクなどを用いて製造することができる。

#### 【0028】

本発明の有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタ 20, 30 においては、そのチャンネルとなる有機薄膜 4 がバッファ層 3 上に形成されているため、その結晶品質が高い。このため、有機薄膜 4 の電界移動度が向上し、非常に大きな相互コンダクタンス ( $g_m$ ) が得られることになる。これにより、本発明のトランジスタ 20, 30 によれば、性能の



高いトランジスタが得られる。

#### 【0029】

次に、本発明の有機薄膜を有する基板の製造方法に係る第3の実施形態を説明する。

本発明の有機薄膜を有する基板1は、基板1上に分子層単位でバッファ層3の厚みを制御できる薄膜堆積法によりバッファ層3を堆積し、次に、バッファ層3上に、六方晶系のC<sub>60</sub>薄膜4などを所望の厚さに堆積することにより製造することができる。

#### 【0030】

また、本発明の有機薄膜を有する基板10は、基板1上にSiO<sub>2</sub>などの絶縁膜5を堆積し、次に、絶縁膜5上に分子層単位でバッファ層3の厚みを制御できる薄膜堆積法によりバッファ層3を堆積し、最後に、バッファ層3上に、C<sub>60</sub>薄膜4を所望の厚さに堆積することにより製造することができる。ここで、基板1に予めSiO<sub>2</sub>などの絶縁膜5を堆積しておいて、バッファ層3及びC<sub>60</sub>薄膜4だけを連続的に堆積してもよい。

#### 【0031】

上記の薄膜堆積方法としては、基板上に分子層単位で少なくともバッファ層3の厚みを制御できる薄膜堆積法であれば、どの方法を用いて製造してもよい。もちろん、バッファ層3と共に、C<sub>60</sub>薄膜4の厚みを分子層単位で制御してもよい。このような、薄膜堆積方法としては、各種真空蒸着法、真空蒸着法的一种である分子線蒸着法及びレーザーアブレーション法等が挙げられる。

#### 【0032】

上記堆積法に用いることができる堆積装置の一例を示す。

図5は、本発明の有機薄膜を有する基板の製造に用いる分子線蒸着装置の構成を模式的に示す図である。分子線蒸着装置40は、超高真空チャンバ41内に、基板42を保持するホルダー43と、ヒーターなどの基板加熱手段45とが設けられ、さらに、超高真空チャンバ41の下部に、バッファ層3及び有機薄膜4の蒸発源としての分子線源るつぼ44（44A、44B）及びルツボ加熱用電源44Cが配設されている。

#### 【0033】

超高真空チャンバ41は、真空排気装置46により排気される。分子線源るつぼ44は、所謂クヌーセンセルであり、るつぼ44の中に入れた個別の蒸発源を加熱して蒸発させる。出てくる蒸気を分子線の形で加熱されている基板42に当て、基板42上に、バッファ層3及び有機薄膜4を堆積させる。分子線源るつぼ44の上部には、シャッタ47が設けられ、基板42への分子線の照射の有無を制御している。

#### 【0034】

また、超高真空チャンバ41には、堆積させるバッファ層3及び有機薄膜4の膜厚を測定するための膜厚測定手段48が配設されている。この膜厚測定手段48としては、堆積させる層の膜厚を分子層単位で制御するために、分解層単位の分解能があればよく、水晶振動子膜厚計や光反射による膜厚計などを用いることができる。

#### 【0035】

さらに、超高真空チャンバ41には、基板への堆積膜厚など基板面内で変化させるためのマスク機構49を備えてよい。このマスク機構49としては、1回の成膜で、基板42へ堆積させる薄膜の面内厚さを連続的に変化させることができる、所謂コンビナトリアルマスクが好適である。

#### 【0036】

上述した実施形態においては、本発明による有機薄膜を有する基板、それを用いたトランジスタ、有機薄膜を有する基板の製造方法について説明した。

上記有機薄膜を有する基板に、さらに、トランジスタ構造に必要なゲート絶縁膜や電極は、ゲート絶縁膜や電極層を各種の堆積方法で行い、さらにマスク工程などを用いることによりトランジスタを製造することができる。また、同一基板上に電界効果トランジスタから成る集積回路をも、製造することができる。

#### 【実施例1】

#### 【0037】

実施例 1 として、表面が  $[1120]$  面のサファイア基板 2 上に、ペンタセン薄膜を用いたバッファ層 3 と  $C_{60}$  薄膜 4 とを堆積した基板 1 を製造した。

最初に、サファイア基板 2 を大気中において、 $1000^{\circ}\text{C}$  で 3 時間及び  $750^{\circ}\text{C}$  で 3 時間のアニール処理を施し、原子レベルで平坦なステップテラス構造を有する表面とした。このサファイア基板 2 を  $5 \times 10^{-8} \text{ Torr}$  よりも高い真空度にした分子線蒸着装置 40 (図 5 参照) 内に設置した。また、ルツボ 44A 及び 44B の蒸着源としては、それぞれ、ペンタセン及び  $C_{60}$  を用いた。

次に、サファイア基板 2 の温度を室温とし、ルツボ 44A の温度を  $200^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$  に設定し、ルツボ 44A 内のペンタセンを蒸発させて、1 分子層 (約  $15 \text{ \AA}$ ) のペンタセンから成るバッファ層 3 をサファイア基板 2 上に堆積した。このときのペンタセン薄膜 4 の成膜速度は、 $3 \sim 4 \text{ \AA/分}$  であった。次に、サファイア基板 2 の温度を  $150^{\circ}\text{C}$  に設定した後、ルツボ 44B の温度を  $300^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$  に設定し、ルツボ 44B 内の  $C_{60}$  を蒸発させて、膜厚約  $150 \text{ \AA}$  (約 20 分子層) の  $C_{60}$  薄膜 4 をバッファ層 3 上に堆積した。このときの  $C_{60}$  薄膜 4 の成膜速度は、 $5 \text{ \AA/分}$  であった。

#### 【0038】

上記有機薄膜を有する基板 1 の表面を、原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて観察した。図 6 は、実施例 1 の有機薄膜を有する基板 1 の  $C_{60}$  表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。ここで、観察範囲は  $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$  である。図から明らかなように、後述するバッファ層 3 のない比較例においては多数の結晶粒界が観察されるのに対して、実施例 1 の  $C_{60}$  薄膜 4 においては結晶粒径が著しく増大し、さらに、ファセット面が観察され、2 次元成長が得られていることが分かった。そして、実施例 1 の基板 1 は、その平坦性及び結晶性が高く、電界効果トランジスタなどのデバイス化ができた。

#### 【0039】

ここで、上記有機薄膜を有する基板 1 の各格子定数について説明する。

サファイア基板 2 は六方晶系であり、その格子定数は、 $a = 4.765 \text{ \AA}$ ,  $c = 13.001 \text{ \AA}$  である (非特許文献 2 参照)。また、バッファ層 3 のペンタセンは三斜晶系であり、その薄膜の格子定数はバルクとは異なり、 $a = 6.11 \text{ \AA}$ ,  $b = 7.61 \text{ \AA}$ ,  $c = 15.33 \text{ \AA}$  である (非特許文献 3 参照)。さらに、実施例 1 の  $C_{60}$  薄膜 4 は六方晶系であり、その格子定数は実測したところ、 $a = 10.08 \text{ \AA}$ ,  $c = 16.31 \text{ \AA}$  であった。また、 $C_{60}$  薄膜の格子定数は、例えば、 $a = 10.02 \text{ \AA}$ ,  $c = 16.36 \text{ \AA}$  と報告されている (非特許文献 4 参照)。

#### 【実施例 2】

##### 【0040】

$C_{60}$  薄膜 4 をコンビナトリアルマスクにより、その膜厚を面内で変化させた以外は、実施例 1 と同様にして基板 1 を製造した。ペンタセン薄膜のバッファ層 3 厚みは 1 分子層であり、 $C_{60}$  薄膜 4 の膜厚は面内で、ほぼ  $0 \sim 500 \text{ \AA}$  の厚み傾斜分布が得られた。

##### 【0041】

図 7 は、実施例 2 の有機薄膜を有する基板 1 の X 線回折結果及び RHEED 像を示す図である。図の横軸は角度  $2\theta$  (度) を示し、縦軸は回折 X 線強度 (任意目盛り) を示している。ここで、 $C_{60}$  薄膜 4 の膜厚は、 $500 \text{ \AA}$  である。図から明らかなように、各回折面からの強度の強い回折が得られた (図 6 の  $(002)$  面など参照)。同様に、RHEED 像からも明瞭な電子線回折像 (白い線状部分) が得られた。これにより、 $C_{60}$  薄膜 4 の結晶品質が優れていることが分かった。

##### 【0042】

実施例 2 で得られた有機薄膜 4 において、 $C_{60}$  の膜厚が異なる種々の有機薄膜 4 の結晶粒径及び移動度を測定した。その結果、 $C_{60}$  薄膜 4 の結晶粒径が大きくなるにつれて、移動度が増大することが分かった。

#### 【実施例 3】

##### 【0043】

$C_{60}$  薄膜 4 をチャンネルとする電界効果トランジスタ 30 を製造した (図 4 参照)。平坦

化したサファイア基板 2 上に、真空蒸着法を用いてゲート電極 2 2 となるアルミニウムを 2 0 0 ~ 4 0 0 Å 蒸着し、引き続き、R F マグネトロンスパッタ法によりゲート絶縁膜 2 1 となる酸化アルミニウムを約 2 0 0 0 Å 堆積した。次に、実施例 1 と同様の方法で、酸化アルミニウムから成るゲート絶縁膜 2 1 上に、1 分子層から 3 分子層程度のペンタセンバッファ層 3 と約 5 0 0 Å の C<sub>60</sub> 薄膜 4 と、を順次堆積した。堆積には、クヌーセンセルを有する分子線蒸着装置 4 0 を使用した。次に、ソース電極 2 3 及びドレイン電極 2 4 としては、マグネシウム (Mg) を、パルスレーザー堆積法を用いて堆積した。この際、メタルシャドーマスクを用いて素子形成を行った。最後に、素子最上層に保護膜 2 6 となるアルミナ薄膜を約 5 0 0 0 Å 堆積し、実施例 3 の n 型電界効果トランジスタ 3 0 を製造した。

#### 【0044】

この実施例 3 の n 型電界効果トランジスタのチャネルの電界移動度は、0.01 ~ 0.1 cm<sup>2</sup> / V · s であった。

図 8 は、実施例 3 の n 型電界効果トランジスタのゲート電圧とドレイン電流 (V<sub>g</sub> - I<sub>d</sub>) 特性を示す図である。図において、横軸はゲート電圧 (V)、縦軸はドレイン電流 (A) を示している。図において、ドレイン電圧は 60 V である。

図から明らかなように、ゲート電極 2 2 に対して、約 -20 ~ 60 V のゲート電圧 V<sub>g</sub> を印加すると、V<sub>g</sub> > 20 V では、V<sub>g</sub> の変化に対応して、ドレイン電流 I<sub>d</sub> が変化していることが確認でき、所謂エンハンスメント型の I-V 特性が得られた。

#### 【0045】

(比較例)

比較例として、実施例 1 においてバッファ層 3 を挿入しない基板、即ちサファイア基板 2 上に直接 C<sub>60</sub> 薄膜 4 を設けた有機薄膜を有する基板を、実施例 1 と同様に製造した。C<sub>60</sub> 薄膜の厚さは、約 150 Å であった。

図 9 は、比較例の C<sub>60</sub> 表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。ここで、観察範囲は 1 μm × 1 μm である。図から明らかなように、多数の結晶粒界が観察され、2 次元成長ではなく従来の 3 次元成長であることが分かる。この比較例は、非常に深い結晶粒界が存在し、その後で、電界効果トランジスタなどのデバイス化が困難であった。

#### 【0046】

また、図 10 は、比較例の有機薄膜を有する基板の X 線回折結果及び RHEED 像を示す図である。図の横軸は角度 2θ (度) を示し、縦軸は回折 X 線強度 (任意目盛り) を示している。ここで、C<sub>60</sub> 薄膜の膜厚は、500 Å である。図から明らかなように、殆ど X 線回折が得られなかった。また、RHEED 像においても、明瞭な電子線回折像が得られなかった。これにより、比較例の C<sub>60</sub> 薄膜の結晶性が悪いことが分かった。

#### 【0047】

次に、実施例 2 及び比較例の C<sub>60</sub> 薄膜の紫外可視吸収スペクトルの比較をした。

図 11 は、実施例 2 及び比較例の C<sub>60</sub> 薄膜の紫外可視吸収スペクトルを示す図である。図の縦軸は、吸光度 (任意目盛り) を示し、横軸は波長 (nm) を示している。ここで、実施例 2 及び比較例の C<sub>60</sub> 薄膜の膜厚は何れも 500 Å である。図から明らかなように、比較例に対して実施例 2 では強度の強い明瞭な吸収が生じた。特に、実施例 2 では 220 nm の吸収ピークが観測されるのに対して、比較例では観測されなかった。

これにより、実施例 2 の C<sub>60</sub> 薄膜 4 の結晶品質が高いことが明らかになった。

#### 【0048】

本発明は、上記実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれることはいうまでもない。例えば、上記実施の形態で説明したトランジスタは電界効果トランジスタに限らず、他のトランジスタにも適用し得ることは勿論である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0049】

【図 1】 本発明に係る第 1 の実施形態による有機薄膜を有する基板の断面図である。

【図 2】 本発明に係る第 1 の実施形態による有機薄膜を有する基板の変形例の断面図である。

【図 3】 本発明に係る第 2 の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの構造を模式的に示す断面図である。

【図 4】 本発明に係る第 2 の実施形態による有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタの変形例の断面図である。

【図 5】 本発明の有機薄膜を有する基板の製造に用いる分子線蒸着装置の構成を模式的に示す図である。

【図 6】 実施例 1 の有機薄膜を有する基板の  $C_{60}$  表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。

【図 7】 実施例 2 の有機薄膜を有する基板の X 線回折結果及び RHEED 像を示す図である。

【図 8】 実施例 3 の n 型電界効果トランジスタのゲート電圧とドレイン電流 ( $V_g - I_d$ ) 特性を示す図である。

【図 9】 比較例の有機薄膜を有する基板の  $C_{60}$  表面を原子間力顕微鏡で観察した写真である。

【図 10】 比較例の有機薄膜を有する基板の X 線回折結果及び RHEED 像を示す図である。

【図 11】 実施例及び比較例の  $C_{60}$  薄膜の紫外可視吸収スペクトルを示す図である。

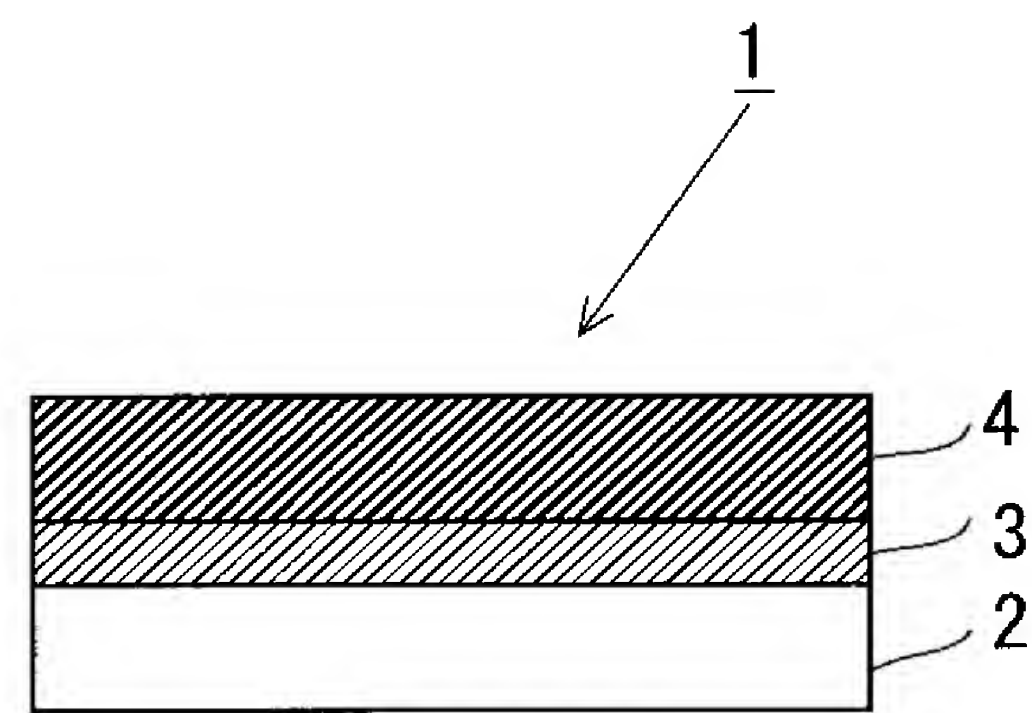
【図 12】 非特許文献 1 の Si 基板上へ堆積した  $C_{60}$  薄膜の AFM (原子間力顕微鏡) 写真であり、(a) が AFM 像、(B) が  $C_{60}$  薄膜の断面模式図である。

#### 【符号の説明】

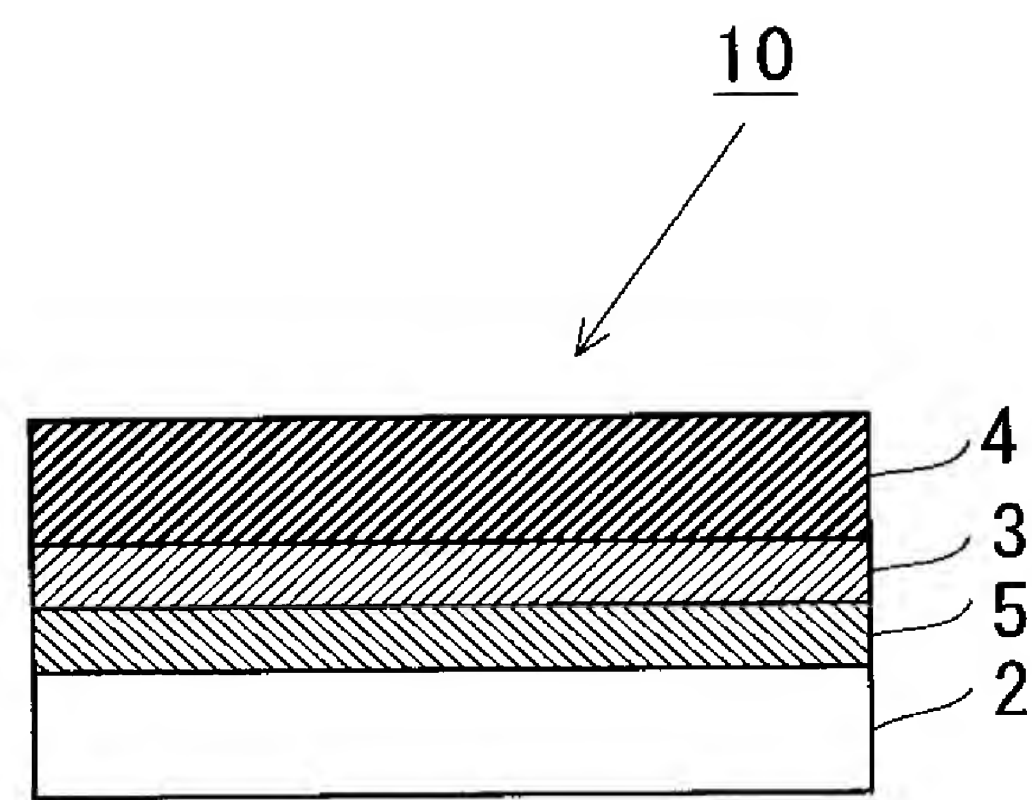
##### 【0050】

- 1, 10 : 有機薄膜を有する基板
- 2, 25, 42 : 基板
  - 3 : バッファ層 (ペンタセン 薄膜)
  - 4 : 有機薄膜 ( $C_{60}$  薄膜)
  - 5 : 基板又は / 及び バッファ層と配向しやすい層 (絶縁層)
- 20, 30 : 有機薄膜を有する基板を用いたトランジスタ
  - 21 : ゲート絶縁膜
  - 22 : ゲート電極
  - 23 : ソース電極
  - 24 : ドレイン電極
  - 26 : 保護膜
- 40 : 分子線蒸着装置
  - 41 : 超高真空チャンバ
  - 43 : ホルダー
  - 44 : るつぼ
    - 44A : バッファ層用 るつぼ
    - 44B : 有機薄膜用 るつぼ
    - 44C : るつぼ加熱用電源
  - 45 : 基板加熱手段
  - 46 : 真空排気装置
  - 47 : シャッタ
  - 48 : 膜厚測定手段
  - 49 : マスク機構

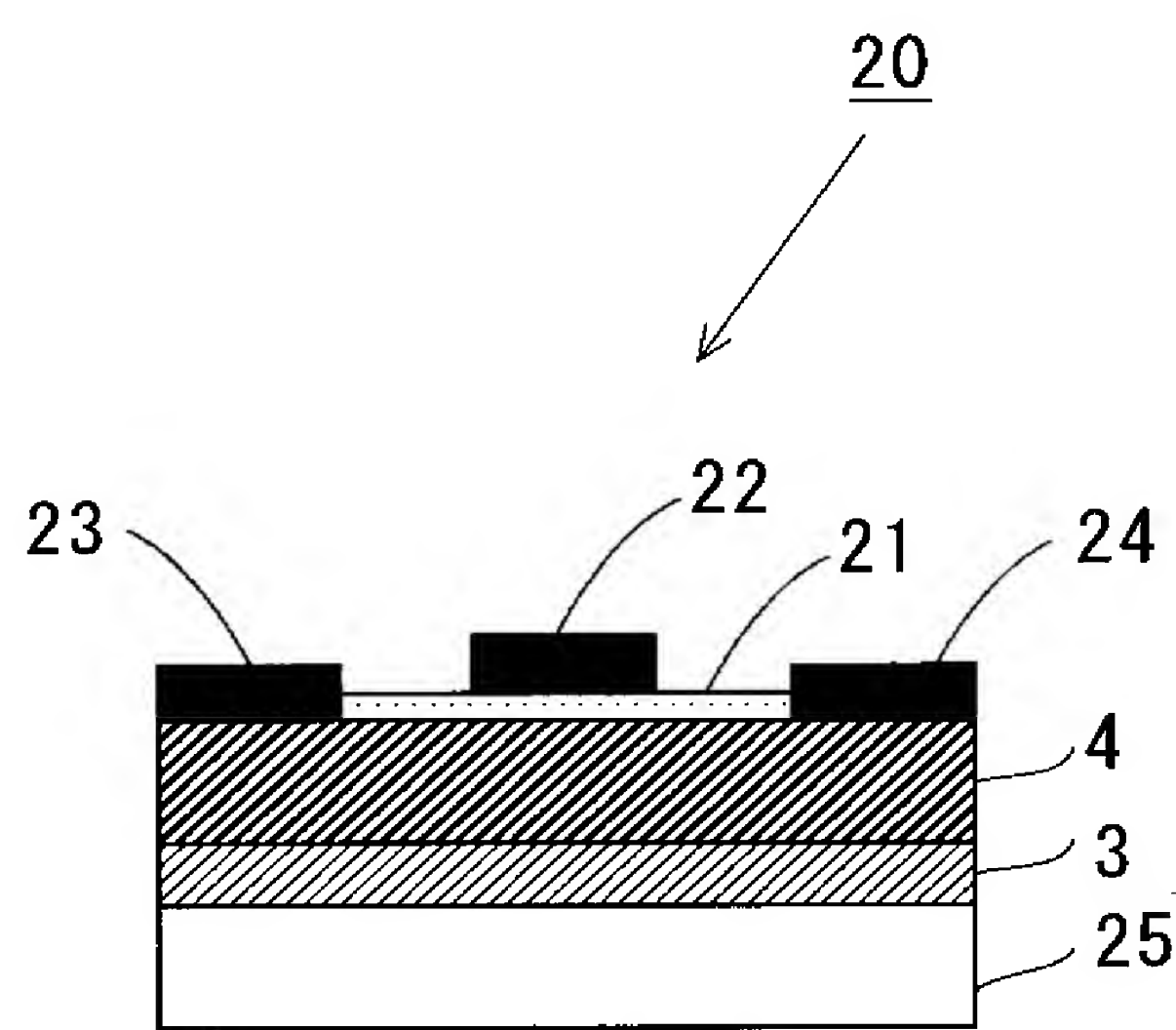




【図 2】

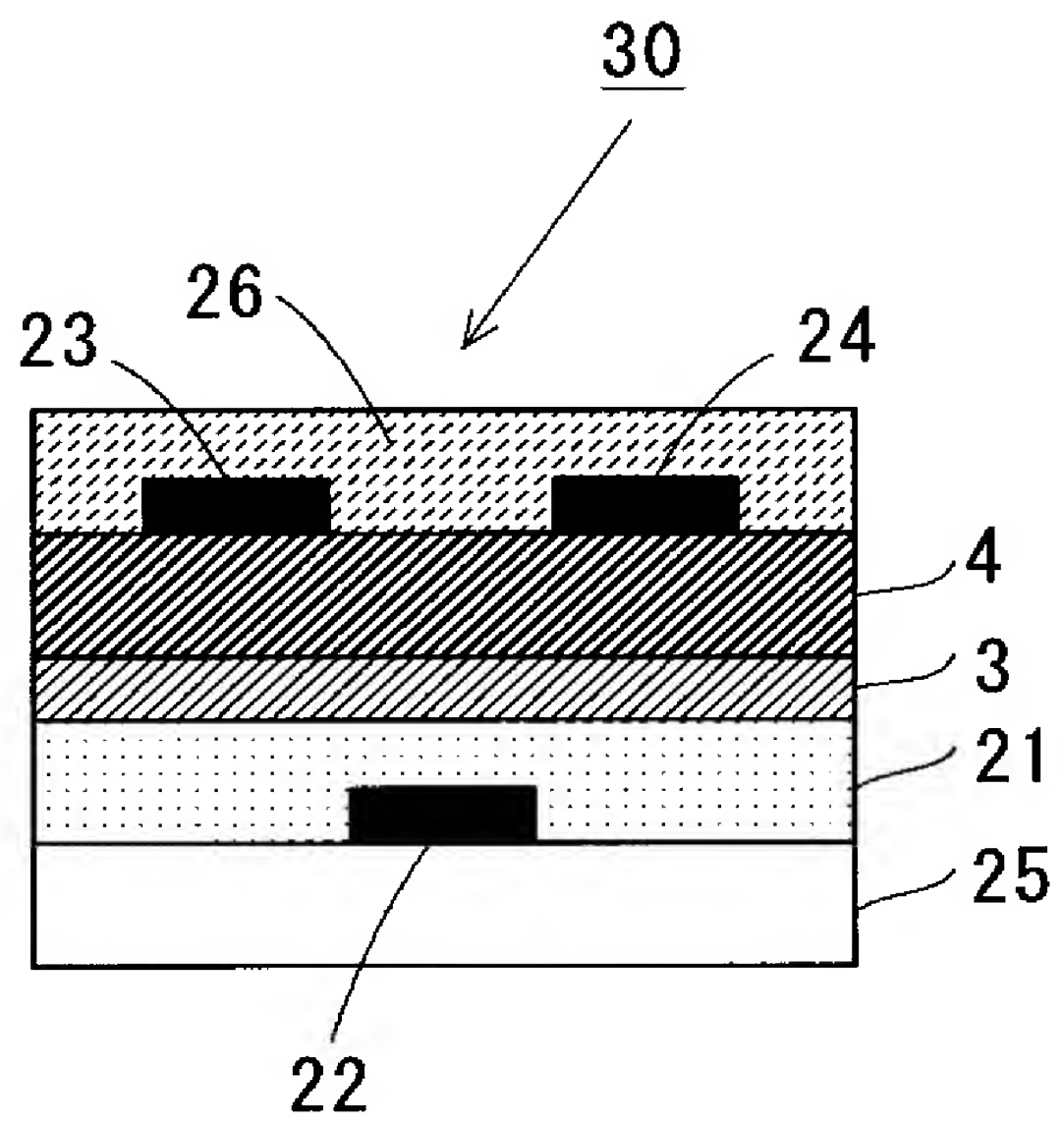


【図 3】

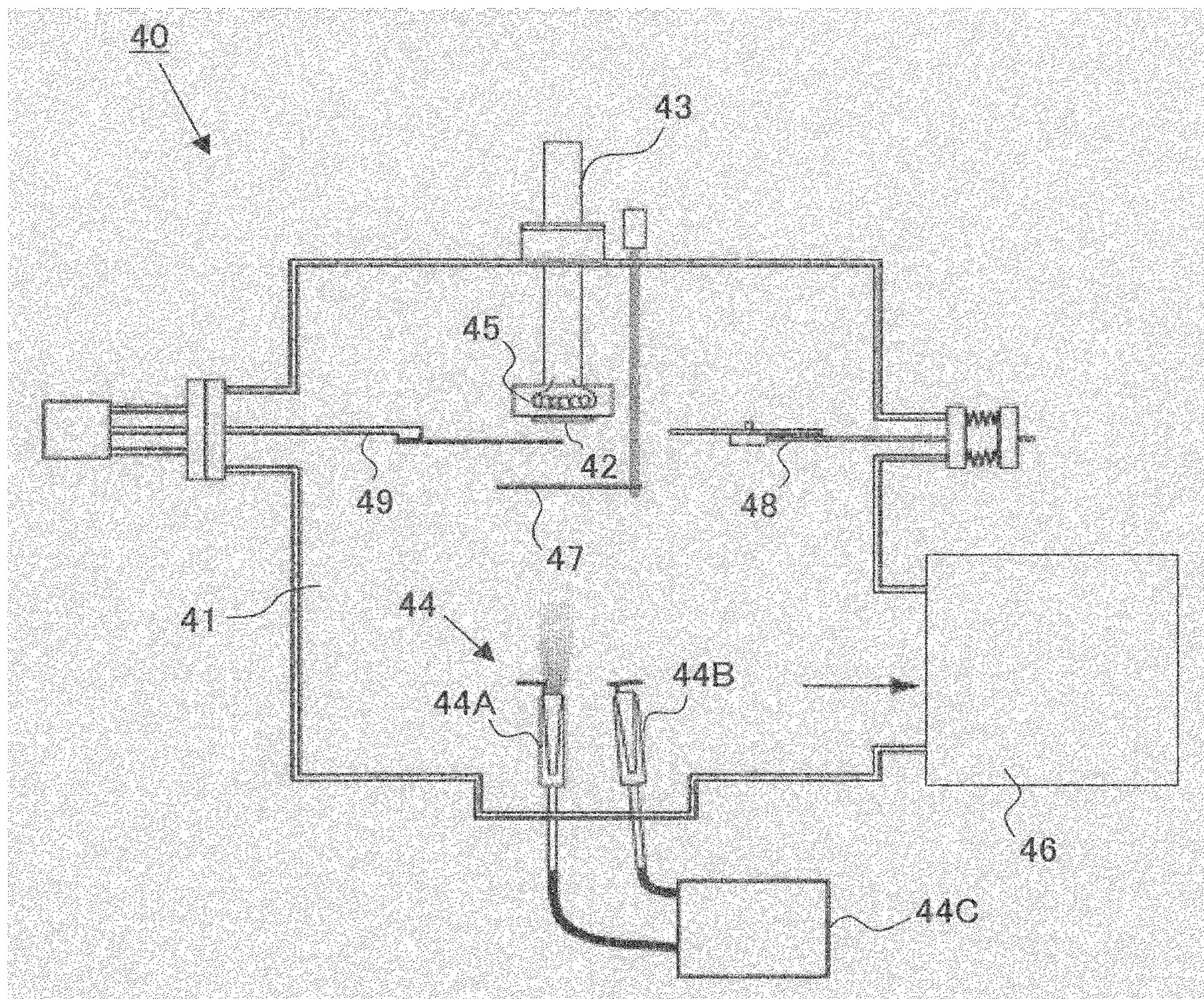




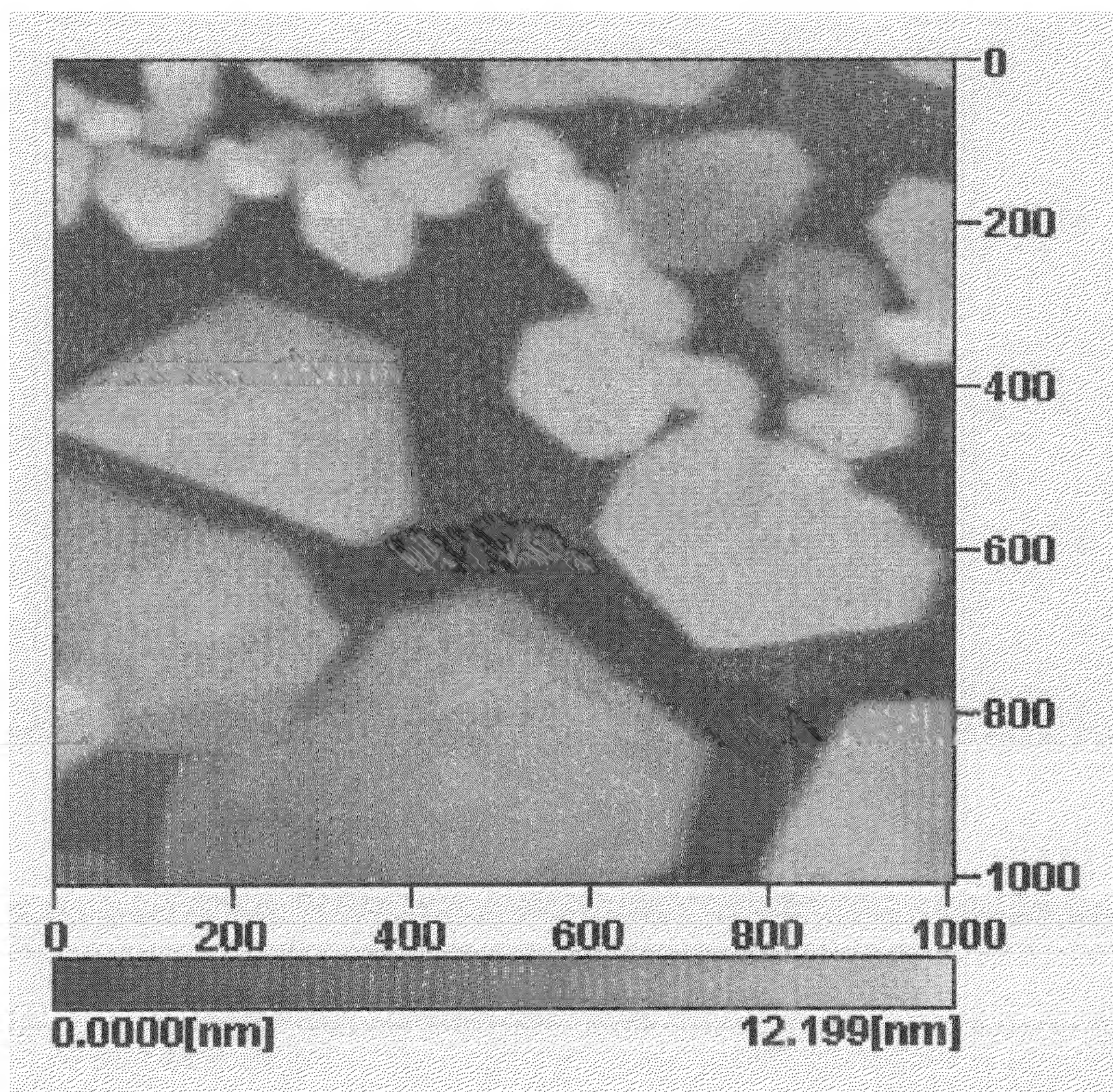
【図 4】



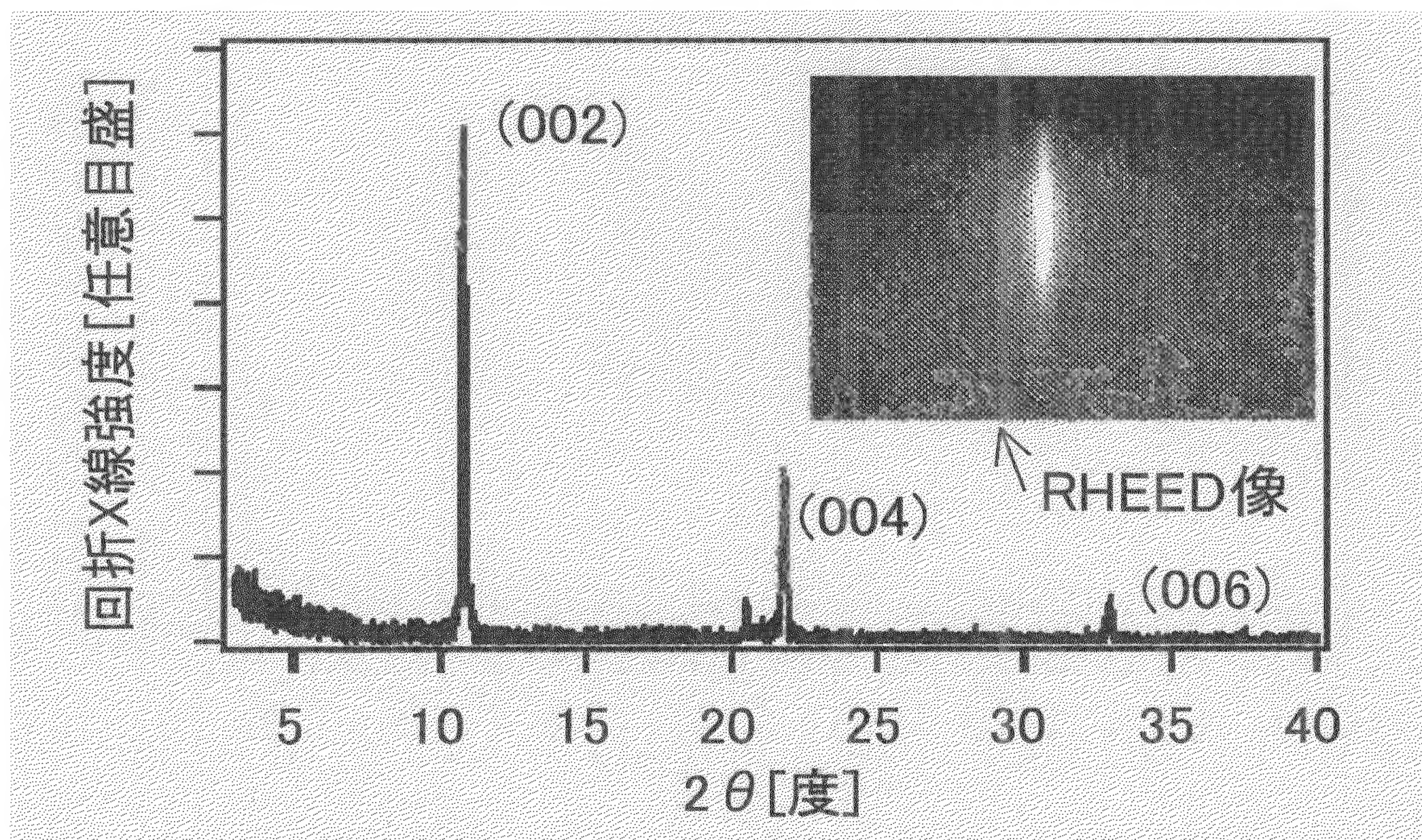
【図 5】



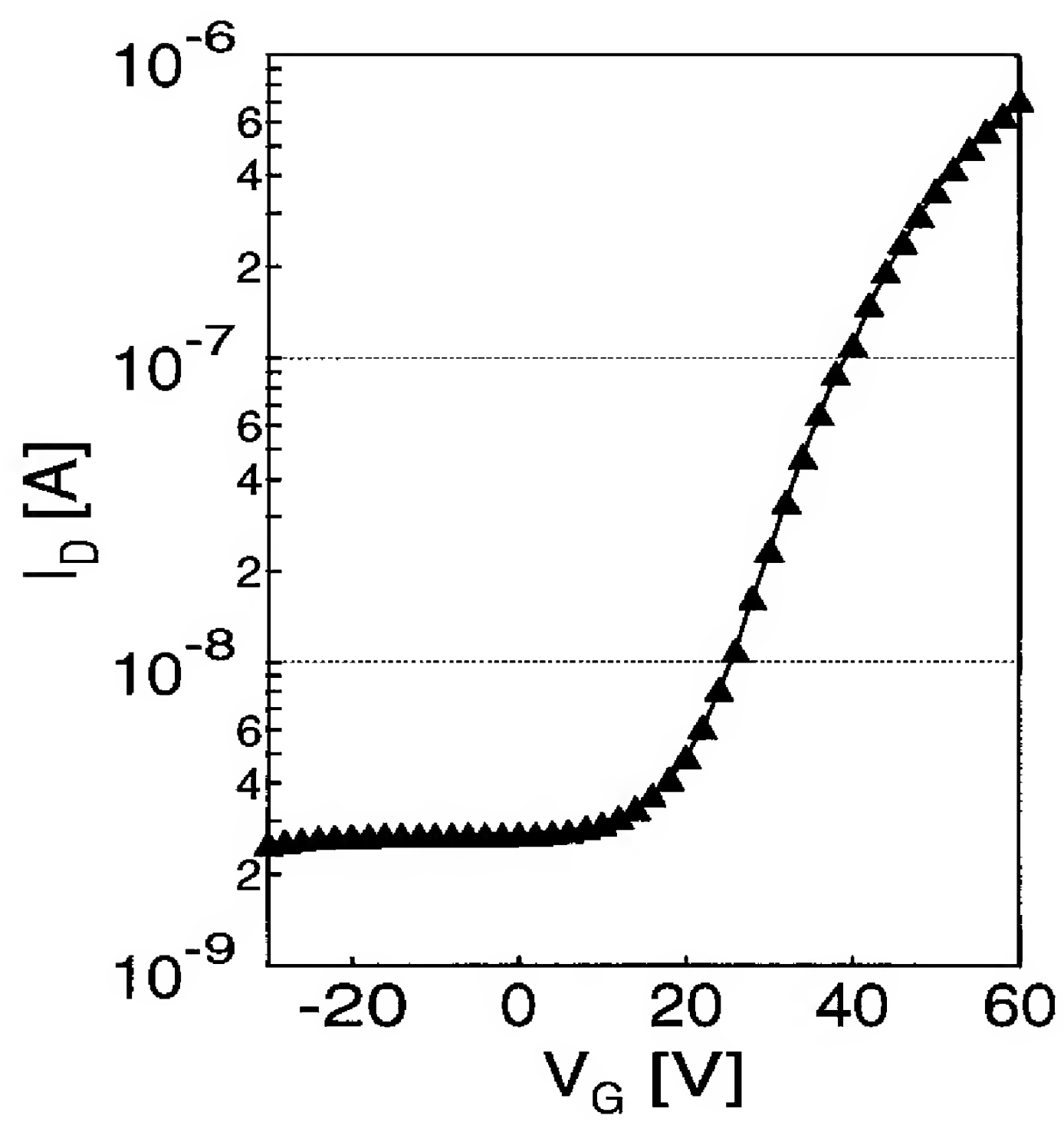




【 図 7 】

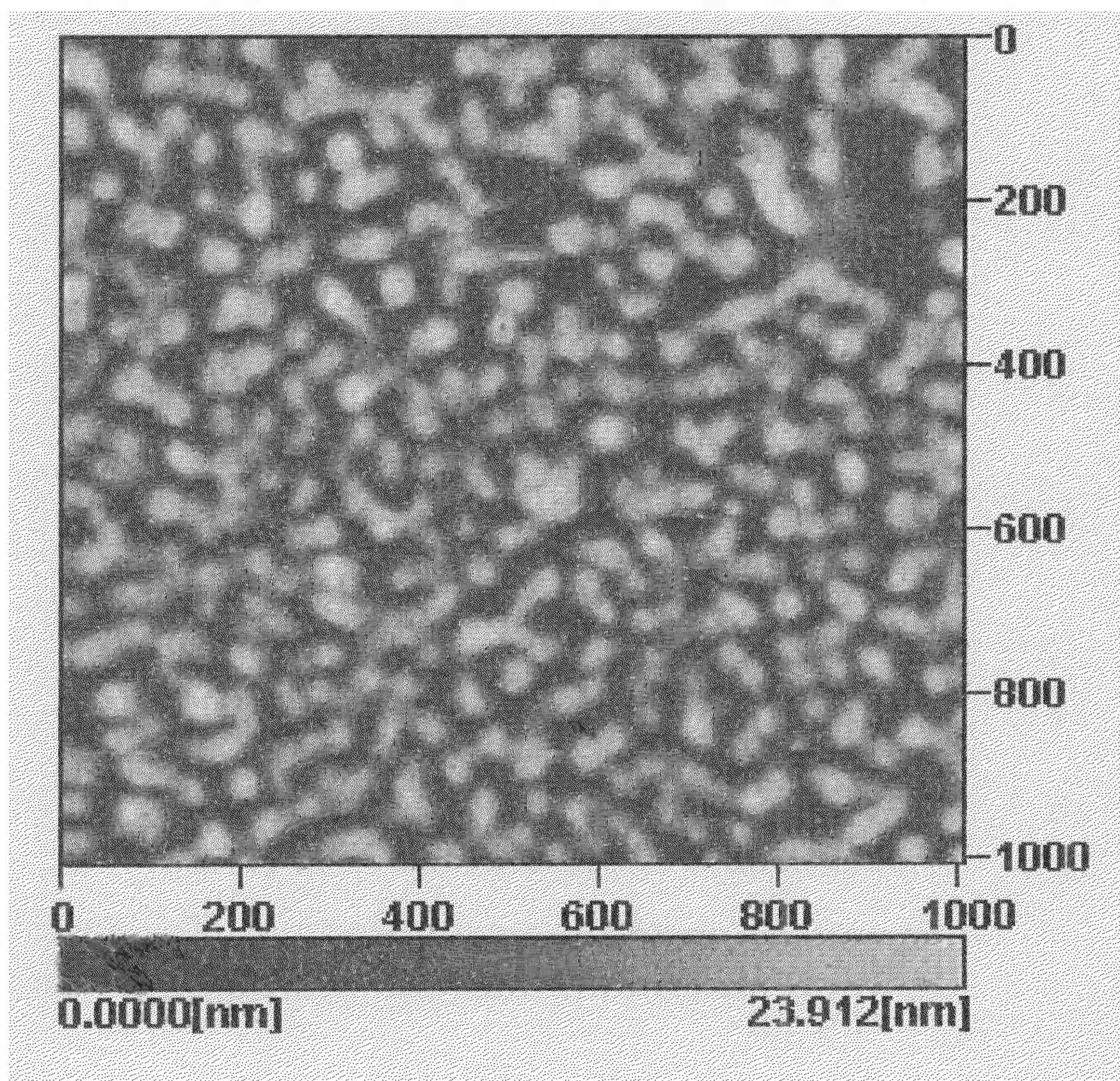




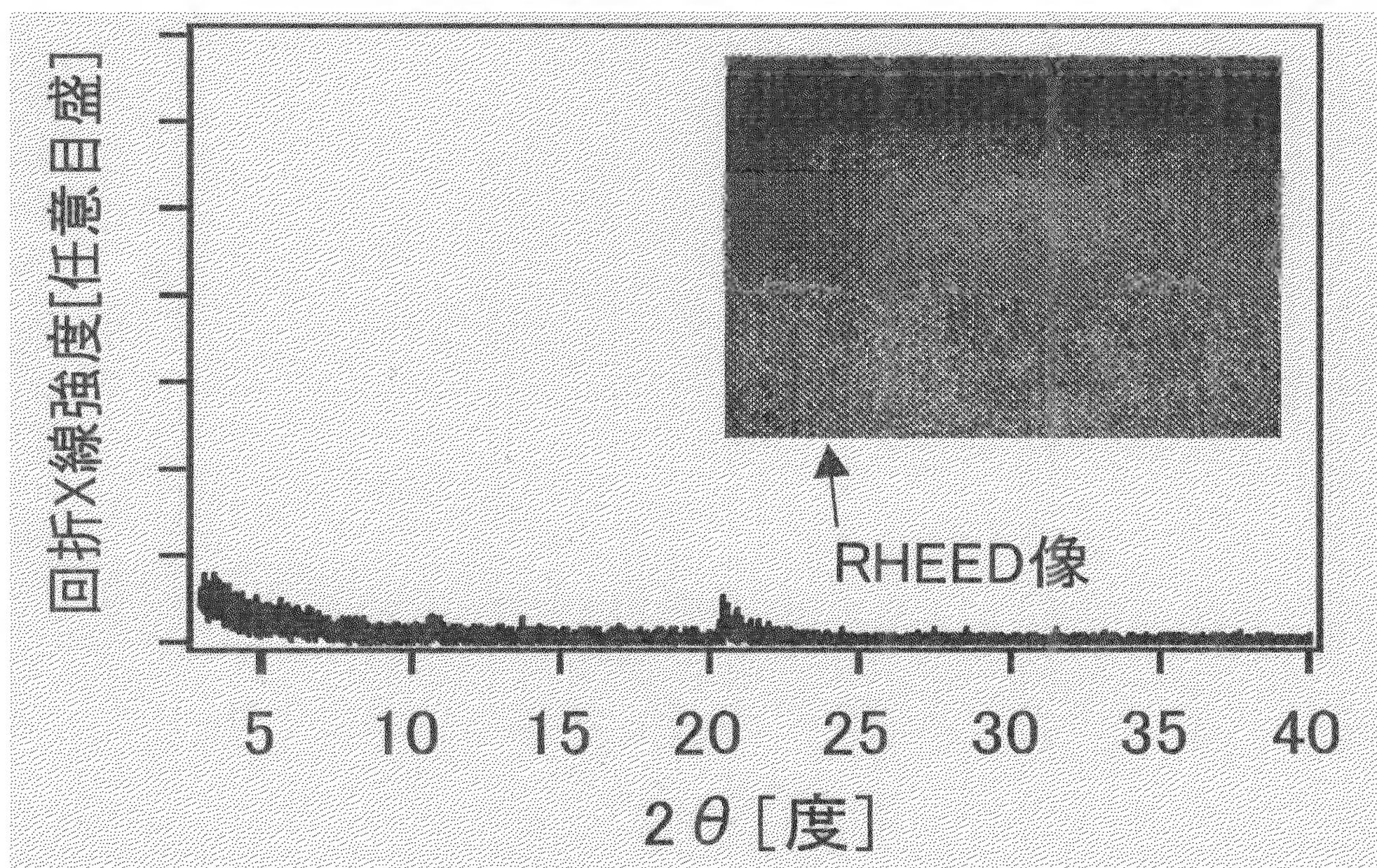




【図 9】

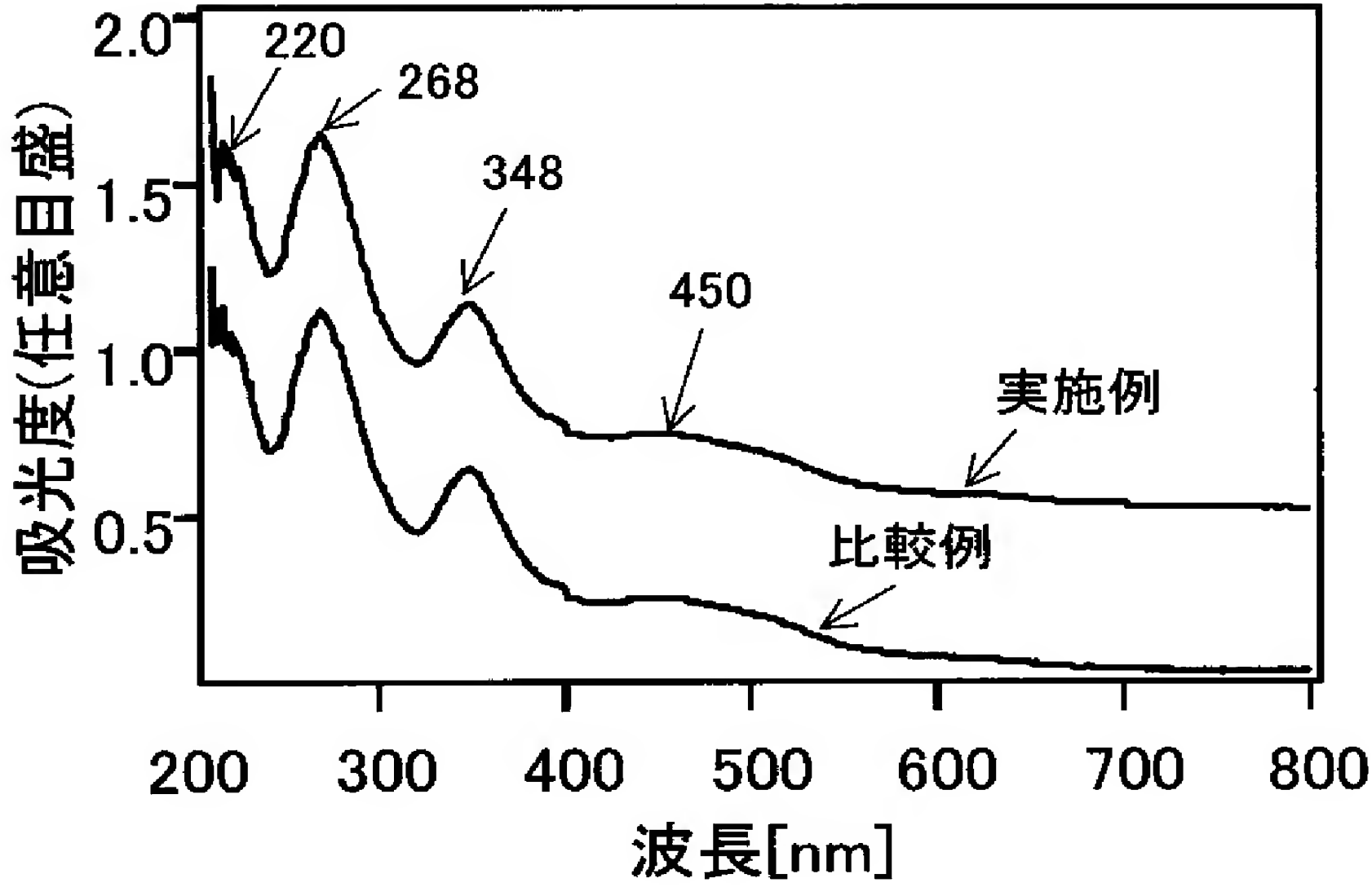


【図 10】

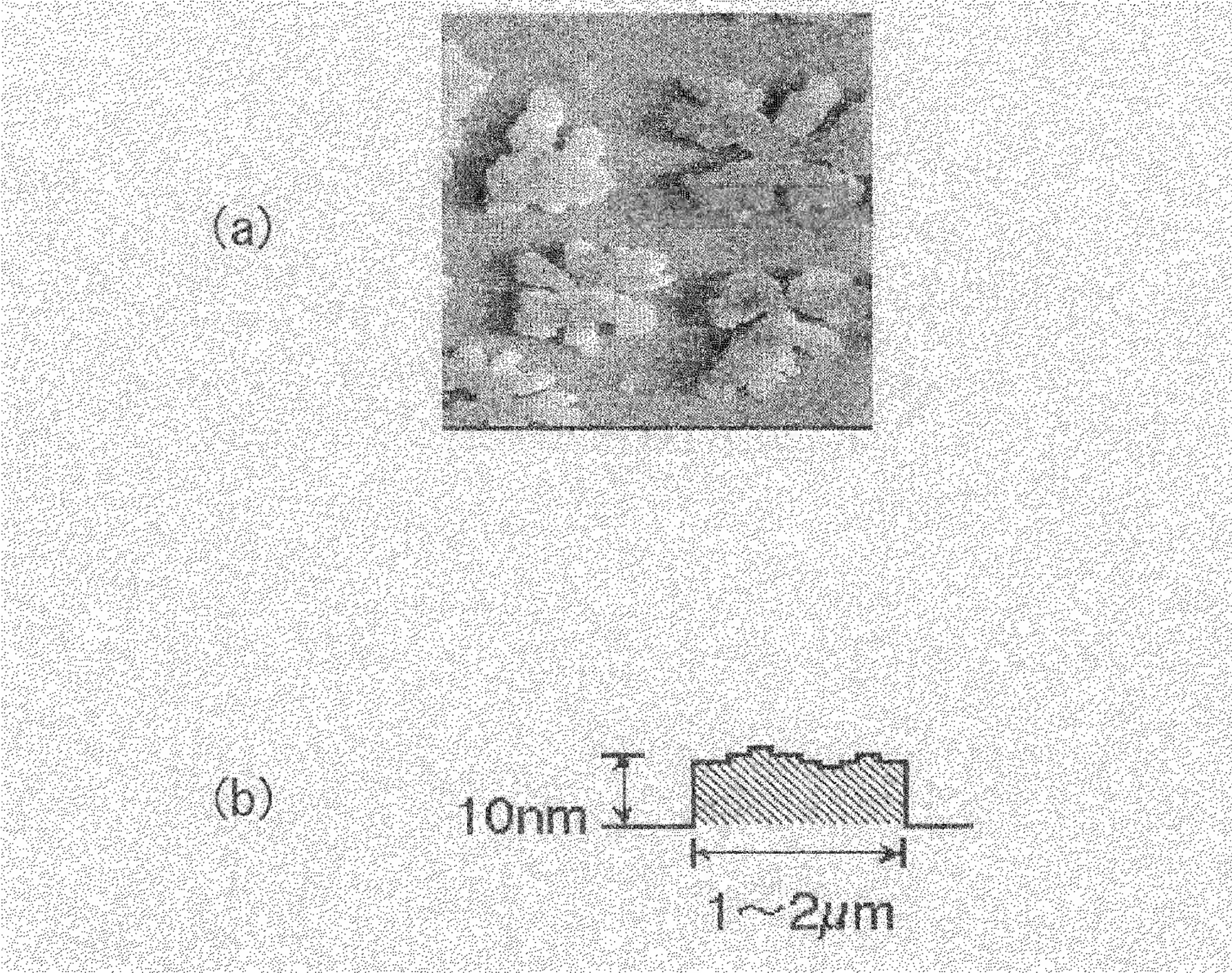




【図 1 1】



【図 1 2】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】  $C_{60}$ などの有機薄膜を二次元成長できる、有機薄膜を有する基板及びそれを用いたトランジスタ並びにそれらの製造方法を提供する。

【解決手段】 基板2上に、バッファ層3と有機薄膜4とを順次積層し、有機薄膜を有する基板1を構成する。さらに、基板1とバッファ層3との間に、基板2やバッファ層3と配向しやすい層を挿入してもよい。例えば、基板1はサファイア基板、バッファ層3はペンタセン、有機薄膜4は $C_{60}$ を用いることができ、品質の高い $C_{60}$ の二次元薄膜を得ることができる。このような有機薄膜を有する基板1を用いることで、性能の高い電界効果トランジスタを実現できる。

【選択図】 図1

出願人履歴

5 0 3 3 6 0 1 1 5  
20031001  
新規登録

埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
独立行政法人 科学技術振興機構  
5 0 3 3 6 0 1 1 5  
20040401  
名称変更

埼玉県川口市本町4丁目1番8号  
独立行政法人科学技術振興機構